

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ - СОВМЕЩЕННОГО ПРОЦЕССА «ПРОКАТКА-ПРЕССОВАНИЕ»

Найзабеков А.Б., д.т.н., проф.; Лежнев С.Н., к.т.н.; Панин Е.А.
РГП «Карагандинский государственный индустриальный университет»,
г. Темиртау, Республика Казахстан

Исследования и разработки, направленные на получение высокопрочного металла всегда представляли большой научный и практический интерес и в настоящее время не потеряли своей актуальности. Получение новых уникальных свойств металлов, возможно, добиться уменьшением зерна за счет реализации интенсивной пластической деформацией во всем объеме деформируемой заготовки.

В последние годы разработан ряд новых процессов обработки металлов давлением направленных на получение металла с субультромелкозернистой структурой. Одним из самых перспективных, превосходящих ранее известные способы обработки металлов давлением, является совмещенный процесс «прокатка-прессование» с использованием калиброванных валков и равноканальной ступенчатой матрицы для прессования (рис.1), который был разработан на кафедре «ОМД» Карагандинского государственного индустриального университета [1]. Преимущество данного процесса заключается в том, что при реализации данного совмещенного процесса обеспечивается непрерывность процесса, и снимаются ограничения по размерам исходных заготовок.

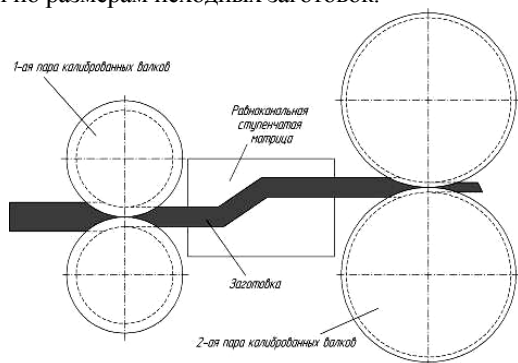


Рис. 1. Совмещенный процесс «прокатка-прессование»

Суть предлагаемого способа деформирования заключается в следующем. Предварительно нагретая до температуры начала деформирования заготовка подается к прокатным валкам, которые за счет сил контактного трения захватывают её в зев валков, а на выходе из него проталкивают через каналы равноканальной ступенчатой матрицы. После того, как заготовка полностью выйдет из каналов матрицы она захватывается второй парой валков, которые также за счет контактных сил трения захватывают заготовку в зев второй пары валков и полностью вытягивают заготовку из каналов матрицы. То есть в данном случае процесс прессования заготовок в равноканальной ступенчатой матрице реализуется за счет использования контактных сил трения, возникающих на поверхности контакта металла с вращающимися валками.

В работах [1-2] были проведены теоретические исследования данного процесса. Сравнительный анализ использования гладких и калиброванных валков в данном процессе выявил, что использование калиброванных валков более целесообразно, так как использование их при аналогичных исходных данных позволяет осуществить процесс «прокатка-прессование» с меньшим углом стыка в равноканальной ступенчатой матрице при значительно меньшем обжатии. Еще одним несомненным преимуществом использования калиброванных валков вместо гладких является возможность контролирования уширения заготовки при ее деформировании в калиброванных валках. Также были получены теоретические зависимости для определения сил подпора в равноканальной ступенчатой матрице при проталкивании заготовки в нее за счет активных сил трения, создаваемых валками. На основании этих исследований была создана программа, которая позволяет определять рациональные геометрические и технологические параметры этого процесса для осуществления деформирования заготовок квадратного и прямоугольного поперечного сечения любых размеров. Если деформирование какого-либо профилиразмера невозможно, то программа выдает сообщение об этом.

Помимо этого, было проведено моделирование процесса «прокатка-прессование» с использованием калиброванных валков и равноканальной ступенчатой матрицы [3]. Моделирование процесса «прокатка-прессование» проводили в программном комплексе DEFORM-3D. После окончания расчета и просмотра результатов модель считалась удачной, если заготовка захватывалась и прокатывалась в первой паре валков, затем с их помощью проталкивалась через все каналы матрицы, а при выходе из нее захватывалась второй парой валков и полностью вытягивалась из матрицы (рис. 2).

Анализ влияния различных факторов на условие протекания данного процесса показал, что такие факторы как угол стыка каналов матрицы, коэффициент трения, температура, протяженность каналов матрицы оказывают существенное влияние на возможность осуществления совмещенного процесса «прокатка-прессование». И только выбор рациональных режимов деформирования для заданного профилиразмера заготовки, и учет всех факторов позволит осуществить этот сложный процесс. Для этого были составлены таблицы рациональных геометрических и технологических параметров для различных поперечных сечений заготовок. Данные таблицы позволяют точно подобрать значения всех необходимых параметров для осуществления процесса «прокатка-прессование» с использованием калиброванных валков и равноканальной ступенчатой матрицы.

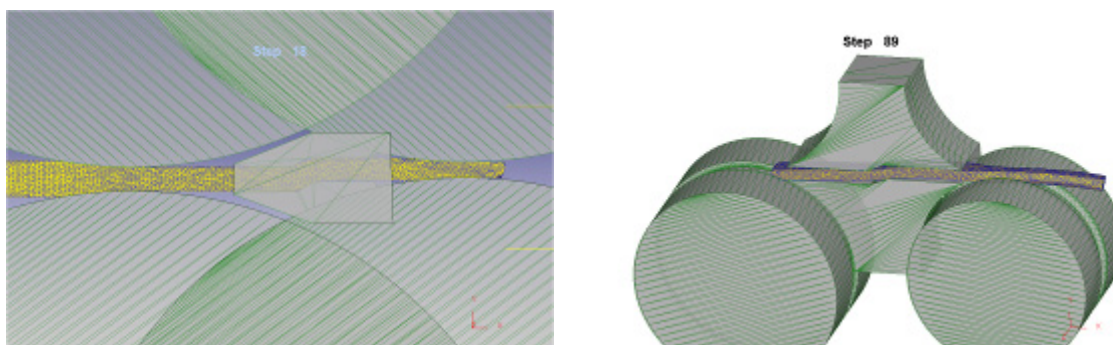


Рис. 2. Успешные модели

После того, как была получена успешная модель совмещенного процесса «прокатка-прессование», было решено провести исследование напряженно-деформированного состояния деформируемой заготовки при реализации данного процесса. Это связано с тем, что исследования напряженного состояния позволяют изучить распределение напряжений во всем объеме заготовки при деформировании, а также выявить те зоны, которые в большей мере подвержены образованию дефектов вследствие возникновения в них больших растягивающих напряжений. Это дает возможность внести необходимые коррективы для снижения интенсивности действия растягивающих напряжений и, как следствие, предотвратить образование дефектов. А исследования деформированного состояния позволяет изучить распределение накопленной деформации во всем объеме заготовки при деформировании и выявить те зоны, которые в большей мере подвержены деформации. На основе этого можно определить рациональные как геометрические, так и технологические параметры деформирования.

При исследовании напряженно-деформированного состояния (НДС) при совме-

щенном процессе деформирования заготовок «прокатка-прессование» были проанализированы следующие этапы данного процесса:

- 1) заготовка только прокатывается в первой паре валков;
- 2) заготовка прокатывается в первой паре валков и проходит через каналы матрицы;
- 3) заготовка прокатывается в первой паре валков, проходит через каналы матрицы и затем прокатывается во второй паре валков.

Для анализа НДС на данных этапах были исследованы следующие параметры:

- эквивалентная деформация $\epsilon_{\text{ЭКВ}}$;
- эквивалентное напряжение $\sigma_{\text{ЭКВ}}$;
- главные напряжения $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$.

Исследование НДС металла при реализации совмещенного процесса «прокатка-прессование» с использованием равноканальной ступенчатой матрицы и калиброванных валков производили с помощью программы DEFORM 3D (США).

1-ый этап

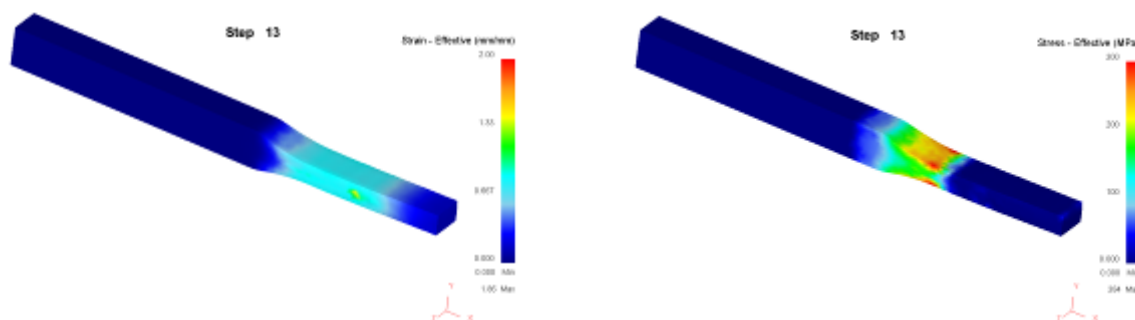


Рис. 3. Эквивалентные деформация $\epsilon_{\text{ЭКВ}}$ и напряжение $\sigma_{\text{ЭКВ}}$

При анализе НДС первого этапа было выявлено, что распределение эквивалентных деформаций по всему объему деформируемой заготовки носит равномерный характер. Среднее значение эквивалентных накопленных деформаций примерно равно 0,7-0,8. Исключение составляет передний конец заготовки, где значение $\epsilon_{\text{ЭКВ}}$ равно 0,2-0,3, что связано со сделанными выточками при построении

модели, которые были сделаны для того, чтобы облегчить захват заготовки прокатными валками.

Анализ эквивалентных напряжений производили в очаге деформации только в данный момент времени, т.е. не учитывалось накопление напряжений, как при исследовании эквивалентной деформации. Эквивалентное напряжение $\sigma_{\text{ЭКВ}}$ при прокатке заготовки в валках достигает значения

384 МПа. При этом наибольшие значения эквивалентных напряжений возникают в местах контакта заготовки с валками.

Анализ распределения главных напряжений показывает, что в очаге деформации в основном преобладают сжимающие напряжения ($\sigma_1=-261$

МПа, $\sigma_2=-344$ МПа, $\sigma_3=-460$ МПа). Схема всестороннего сжатия гарантирует отсутствие макро- и микротрещин в металле и благоприятствует максимальной степени пластичности деформируемой заготовки.

2-ой этап

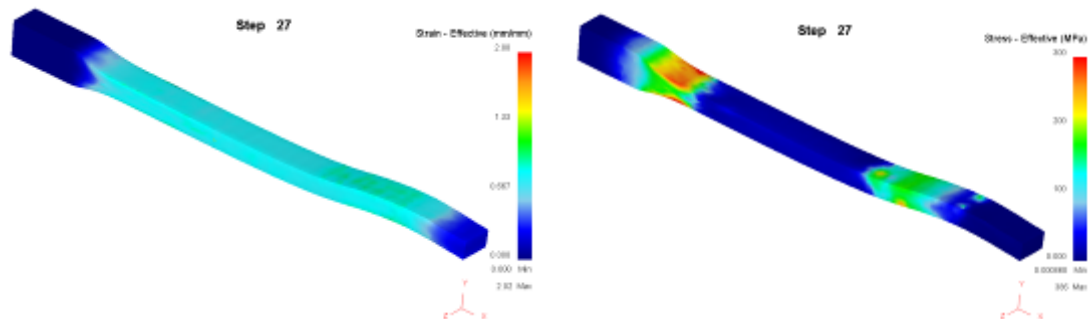


Рис. 4. Эквивалентные деформация $\epsilon_{\text{экв}}$ и напряжение $\sigma_{\text{экв}}$

На втором этапе заготовка одновременно прокатывается в валках и передним концом проходит через каналы равноканальной ступенчатой матрицы. Это приводит к возникновению двух очагов концентрации напряжений. Здесь эквивалентное напряжение $\sigma_{\text{экв}}$ по-прежнему имеет максимальное значение в очаге деформации при прокатке заготовки в валках – 386 МПа, а в зоне стыка каналов матрицы оно лежит в интервале 150-170 МПа.

Анализ главных напряжений показал, что на данном этапе во всем объеме заготовки преобладают сжимающие напряжения, значения которых увеличиваются ($\sigma_1=-811$ МПа, $\sigma_2=-844$ МПа, $\sigma_3=-$

1090 МПа). Это объясняется тем, что заготовка при прохождении зоны стыка каналов испытывает большое сопротивление со стороны матрицы, которое препятствует движению заготовки, что создает значительные сжимающие напряжения по всем трем главным направлениям.

Анализ же распределения эквивалентных деформаций на втором этапе носит тот же характер, что и на первом этапе. Но в зоне стыка каналов матрицы возникают дополнительные сдвиговые деформации, что приводит к накоплению $\epsilon_{\text{экв}}$ с 0,7 до 1.

3-ий этап

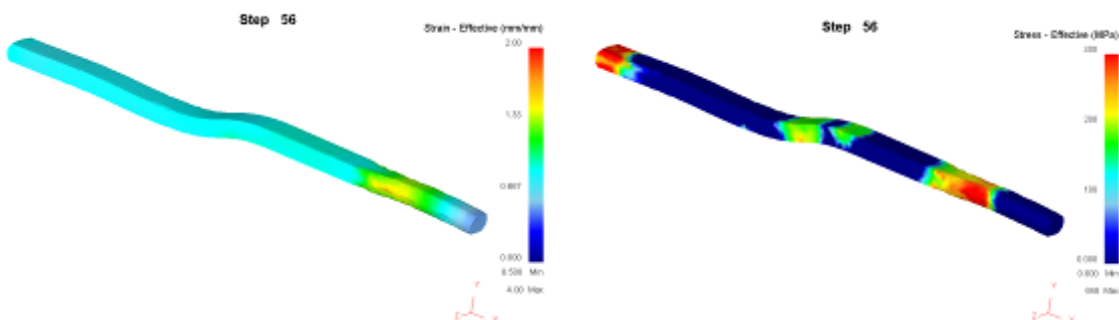


Рис. 5. Эквивалентные деформация $\epsilon_{\text{экв}}$ и напряжение $\sigma_{\text{экв}}$

На третьем этапе передний конец заготовки прокатывается во второй паре валков, в то время как задний конец еще находится в очаге деформации первой пары валков. Таким образом, образуются три зоны локальных концентраций напряжений. Здесь эквивалентное напряжение $\sigma_{\text{экв}}$ достигает максимальных значений (648 МПа) в очагах деформации при прокатке в валках, а в зоне стыка каналов оно равно примерно 170-200 МПа.

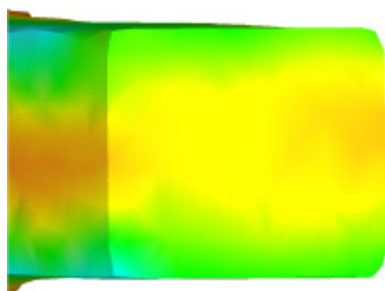
Анализ главных напряжений показывает, что на данном этапе во всем объеме заготовки пре-

обладают сжимающие напряжения, однако их концентрации сосредоточены в очагах деформации обеих пар валков и в зоне стыка каналов ($\sigma_1=-886$ МПа, $\sigma_2=-1100$ МПа, $\sigma_3=-1540$ МПа). На участке от зоны стыка до очага деформации второй пары валков имеют место растягивающие напряжения ($\sigma_{\text{растяг}}=182$ МПа) из-за создаваемого натяжения заготовки вторыми валками.

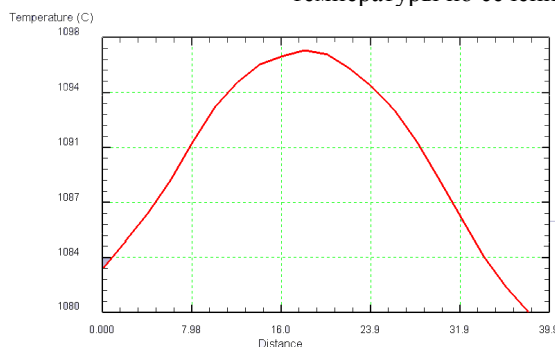
Эквивалентные деформации до зоны стыка каналов равномерно распределяются по всему объему ($\epsilon_{\text{экв}} = 0,7$). После прохождения зоны стыка ка-

налов возникают дополнительные сдвиговые деформации, что приводит к накоплению эквивалентных деформаций ($\varepsilon_{\text{ЭКВ}} = 0,7 \div 1$). При прокатке во второй паре калиброванных валков значение $\varepsilon_{\text{ЭКВ}}$ достигает 2.

Таким образом, анализ напряженно-деформированного состояния заготовок при деформировании их с помощью совмещенного процесса «прокатка – прессование» показал, что при реализации данного процесса реализуется благоприятное НДС для получения металла с субультромелкозернистой структурой.



а)



б)

Рис. 6. Распределение температуры по сечению заготовки

Анализ полученных результатов моделирования показал, что распределение температуры по сечению заготовки носит неравномерный характер (рис. 6, б).

Большая разность температур (до 40 градусов) может привести к неоднородности физических свойств. Поэтому для выравнивания разности температуры по сечению рекомендуется осуществлять предварительный подогрев матрицы.

Также при использовании программного комплекса DEFORM 2D/3D были изучены энергосиловые параметры данного процесса. Помимо этого, при помощи приложения Microstructure программного комплекса DEFORM 2D/3D было проведено исследование эволюции микроструктуры, которое показало, что реализация совмещенного процесса «прокатка-прессование» с использованием равноканальной ступенчатой матрицы создает благоприятные условия для формирования субультрамелкозернистой структуры после шести проходов.

Проведенные теоретические исследования новой технологии деформирования - совмещенного процесса «прокатка-прессование» с использованием равноканальной ступенчатой матрицы при помощи компьютерного моделирования в программном комплексе DEFORM 2D/3D позволило всесторонне изучить данный процесс, определить оптимальные параметры деформирования, знание которых является необходимым условием для проектирования опытно-промышленных установок на базе данной технологии.

Также, помимо НДС, были исследованы температурные условия протекания данного совмещенного процесса [5]. После окончания расчета на заготовке в зоне выхода из второй пары валков делался поперечный разрез и проводилось исследование распределения температуры по сечению. Выбор зоны изучения температуры был обусловлен тем, что именно на выходе из второй пары валков заготовка будет иметь наименьшую температуру, и поэтому в этих валках условия деформирования более жесткие, чем в первой паре или в матрице. Была получена следующая картина распределения температуры по сечению заготовки (рис.6).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Найзабеков А.Б., Лежнев С.Н., Панин Е.А. Теоретические исследования совмещенного процесса «прокатка-прессование» с использованием равноканальной ступенчатой матрицы. // Изв. вузов. Черная металлургия, Москва, 2008, №6. - С. 22-26.
2. Найзабеков А.Б., Лежнев С.Н., Панин Е.А. Кинематический расчет совмещенного процесса «прокатка-прессование», осуществляемого с использованием калиброванных валков и равноканальной ступенчатой матрицы // Технология производства металлов и вторичных материалов. Темиртау, 2008, №1. – С. 66-70.
3. Найзабеков А.Б., Лежнев С.Н., Панин Е.А. Моделирование совмещенного процесса «прокатка-прессование» с использованием калиброванных валков и равноканальной ступенчатой матрицы // Технология производства металлов и вторичных материалов. Темиртау, 2008, №1. – С. 145-154.
4. Найзабеков А.Б., Лежнев С.Н., Панин Е.А. Температурные условия протекания совмещенного процесса «прокатка-прессование». // Труды международной научно-практической конференции «Научно-технический прогресс в металлургии» (Сборник научных трудов), Темиртау, 2009. – с. 328-335.